

УДК 623.407

**О. Шкодзінський, канд. техн. наук; І. Бєлякова; В.Пісьціо;
В.Медвідь, канд. техн. наук**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ П'ЄЗОТРАНСФОРМАТОРА ПОПЕРЕЧНО-ПОПЕРЕЧНОГО ТИПУ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ СТРУМУ ЛЮМІНЕСЦЕНТНОЇ ЛАМПИ

***Резюме.** Розглянуто методику визначення експериментальних характеристик п'єзотрансформатора поперечно-поперечного типу. Наведено експериментальні характеристики п'єзотрансформатора, призначеного для стабілізації струму лінійної люмінесцентної лампи потужністю 20 Вт.*

***Ключові слова:** п'єзотрансформатор, люмінесцентна лампа.*

O. Shkodzinsky, I. Belyakova, V. Piscio, V. Medvid

EXPERIMENTAL CHARACTERISTICS OF THE CROSS- TRANSVERSAL-TYPE PIEZOELECTRICAL TRANSFORMER FOR STABILIZE ELECTRIC CURRENT OF FLUORESCENT LAMP

***The summary.** The experimental technique for determining the characteristics of of the cross-transversal-type piezoelectrical transformer has been described. Experimental characteristics of the piezoelectric transformer for stabilize parametrs of linear fluorescent lamps of 20 Watt has been showed.*

***Key words:** piezoelectrical transformer, fluorescent lamp*

Постановка проблеми. При розробленні високочастотних напівпровідникових пускорегулюючих апаратів для зменшення їх габаритів та підвищення надійності зручно використати п'єзоелектричний трансформатор (ПТ). Проте п'єзотрансформатори є високочастотним резонансними пристроями, параметри котрих змінюються від зміни навантаження. Тому виникає завдання розроблення адекватної математичної моделі, що описує зміни параметрів ПТ від зміни навантаження. Для отримання такої моделі необхідно мати методику визначення експериментальних характеристик ПТ.

Аналіз досліджень і публікацій. П'єзоелектричні трансформатори (ПТ) [1,2,3] за своїми характеристиками нагадують трансформатори з розсіюванням, але мають значно менші масу та габарити і не містять електромагнітних компонентів. Для розрахунків п'єзотрансформаторів (ПТ), як правило, використовують метод електромеханічних аналогій, а також експериментально-аналітичні методи дослідження характеристик [1,3].

В основу методу електромеханічних аналогій покладено твердження про аналогію між компонентами механічних та електричних систем, коли має місце перехід від аналізу термодинамічної системи з розподіленими параметрами до електричної схеми з зосередженими параметрами R , L , C . Останні визначають через геометричні розміри п'єзотрансформатора та константи п'єзоматеріалу. Недоліком розрахунків за методом електромеханічних аналогій є досить наближені результати, що дають похибку близько 15% лише при малих вхідних сигналах (до 5 В) і незначних (не більше 15%) змінах навантаження. Тому при використанні цього методу для розрахунків схем ПТ–люмінесцентна лампа, в яких навантаження ПТ змінюється від режиму попереднього

підігріву електродів лампи (близький до короткого замикання) до режиму запалювання лампи (режим холостого ходу), можна отримати лише якісну оцінку параметрів ПТ.

Для пристроїв на основі ПТ, які працюють у режимах дії сильних впливів, попередній метод розрахунку є недостатньо ефективним. Наприклад, навантажувальні та частотні характеристики ПТ у реальних діапазонах зміни навантаження в системах керування не можна отримати аналітично шляхом перетворень із еквівалентних схем.

Методологічною основою експериментально-аналітичних методів дослідження характеристик ПТ є використання ідей кібернетичних ящиків – «сірого» і «чорного». В останньому випадку має місце наявність неконтрольованих і змінюваних випадковим чином параметрів ПТ, де для контролю є доступними тільки вхідні та вихідні величини, а структура ПТ – невідома. На основі експериментальних характеристик ПТ можна отримати аналітичні вирази для розрахунків конструктивних параметрів ПТ з похибкою, що не перевищує в більшості випадків 10%.

Метою роботи є створення методики визначення параметрів ПТ, яка враховує як особливості самого ПТ, так і його нелінійного навантаження, яким є люмінесцентна лампа в пусковому та робочому режимах роботи.

Постановка задачі. Для моделювання роботи п'єзотрансформатора представимо його конструкцію у вигляді чотириполюсника, до вхідних затисків якого приєднане джерело напруги, а до вихідних – активне навантаження, яким на частотах дослідження можна розглядати люмінесцентну лампу (рис. 1).

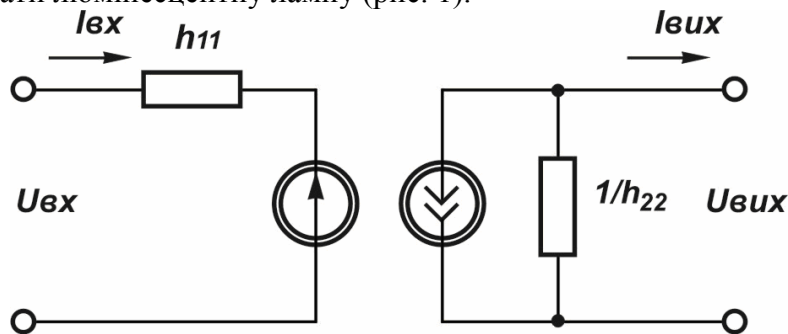


Рисунок 1. Еквівалентна схема чотириполюсника з h -параметрами

Скористаємося для запису рівнянь чотириполюсника формою, що використовує h -параметри для встановлення залежностей між вхідною напругою ($U_{вх}$), вхідним струмом ($I_{вх}$) та вихідною напругою ($U_{вих}$), а також вихідним струмом ($I_{вих}$), вхідним струмом ($I_{вх}$) та вихідною напругою ($U_{вих}$) згідно з (1) та (2).

$$U_{вх} = h_{11}I_{вх} + h_{12}U_{вих}; \quad (1)$$

$$-I_{вих} = h_{21}I_{вх} + h_{22}U_{вих}. \quad (2)$$

Для визначення h -параметрів використовують дані експериментальних вимірювань параметрів чотириполюсника (напруги та струму) в режимах холостого ходу та короткого замикання в колі навантаження.

При короткому замиканні ($U_{вих} \text{ кз} = 0$) з виразу (1) отримуємо

$$h_{11} = U_{вх \text{ кз}} / I_{вх \text{ кз}}, \quad (3)$$

а з виразу (2) –

$$h_{21} = -I_{вих \text{ кз}} / I_{вх \text{ кз}}, \quad (4)$$

де $U_{вх \text{ кз}}$ – вихідна напруга чотириполюсника при короткому замиканні в колі навантаження;

$I_{вх \text{ кз}}$ – вхідний струм чотириполюсника при короткому замиканні в колі навантаження;

$I_{вих \text{ кз}}$ – вихідний струм короткого замикання чотириполюсника.

При цьому параметр h_{11} відповідає вхідному опору чотириполюсника, який вимірюється в (Ом), а h_{21} – безрозмірна величина, яка тотожна коефіцієнту підсилення за струмом.

У режимі холостого ходу в колі навантаження ($I_{вх\ xx}=0$) з виразу (2) отримуємо

$$h_{22} = - (h_{21} I_{вх\ xx}) / U_{вх\ xx} \quad (5)$$

а з виразу (1) –

$$h_{12} = (U_{вх\ xx} - h_{11} I_{вх\ xx}) / U_{вх\ xx} \quad (6)$$

При цьому параметр h_{22} має розмірність провідності (См), а h_{12} – безрозмірна величина.

Таким чином, для отримання значень коефіцієнтів h_{11} , h_{12} , h_{21} та h_{22} необхідно знайти такі експериментальні залежності для досліджуваної конструкції п'єзотрансформатора струму:

а) залежність вхідного струму $I_{вх\ кз}$ та вихідного струму короткого замикання чотириполюсника $I_{вих\ кз}$ від вхідної напруги $U_{вх\ кз}$ при постійному значенні частоти вхідної напруги, що дрівнює резонансній частоті ПТ $f = f_p = const$ та постійному значенню температури довкілля $T = const$.

З отриманих залежностей розрахунковим шляхом знайти функціональні залежності коефіцієнтів $h_{11} = \varphi(U_{вх\ кз})$ та $h_{12} = \varphi(U_{вх\ кз})$ при $f = f_p = const$ та $T = const$;

б) залежність вхідного струму $I_{вх\ кз}$ та вихідного струму короткого замикання чотириполюсника $I_{вих\ кз}$ від частоти вхідної напруги f при постійному значенні вхідної напруги $U_{вх\ кз}$ та постійному значенні температури довкілля $T = const$.

З отриманих залежностей розрахунковим шляхом знайти функціональні залежності коефіцієнтів $h_{11} = \varphi(f)$ та $h_{12} = \varphi(f)$ при $U_{вх\ кз} = const$ та $T = const$;

в) залежність вхідного струму $I_{вх\ кз}$ та вихідного струму короткого замикання чотириполюсника $I_{вих\ кз}$ від значення температури довкілля T при постійному значенні вхідної напруги $U_{вх\ кз} = const$ та постійному значенні частоти вхідної напруги $f = const$.

З отриманих залежностей розрахунковим шляхом знайти функціональні залежності коефіцієнтів $h_{11} = \varphi(T)$ та $h_{12} = \varphi(T)$ при $U_{вх\ кз} = const$ та $f = const$;

г) залежність вхідного струму $I_{вх\ xx}$ та вихідної напруги холостого ходу чотириполюсника $U_{вих\ xx}$ від вхідної напруги $U_{вх\ xx}$ при постійному значенні частоти вхідної напруги, що дрівнює резонансній частоті ПТ $f = f_p = const$ та постійному значенню температури довкілля $T = const$.

З отриманих залежностей розрахунковим шляхом знайти функціональні залежності коефіцієнтів $h_{12} = \varphi(U_{вх\ xx})$ та $h_{22} = \varphi(U_{вх\ xx})$ при $f = f_p = const$ та $T = const$;

д) залежність вхідного струму $I_{вх\ xx}$ та вихідної напруги холостого ходу чотириполюсника $U_{вих\ xx}$ від частоти вхідної напруги f при постійному значенні вхідної напруги $U_{вх\ xx}$ та постійному значенні температури довкілля $T = const$.

З отриманих залежностей розрахунковим шляхом знайти функціональні залежності коефіцієнтів $h_{12} = \varphi(f)$ та $h_{22} = \varphi(f)$ при $U_{вх\ xx} = const$ та $T = const$;

е) залежність вхідного струму $I_{вх\ xx}$ та вихідної напруги холостого ходу чотириполюсника $U_{вих\ xx}$ від значення температури довкілля T при постійному значенні вхідної напруги $U_{вх\ xx} = const$ та постійному значенні частоти вхідної напруги $f = const$.

З отриманих залежностей розрахунковим шляхом знайти функціональні залежності коефіцієнтів $h_{12} = \varphi(T)$ та $h_{22} = \varphi(T)$ при $U_{вх\ xx} = const$ та $f = const$.

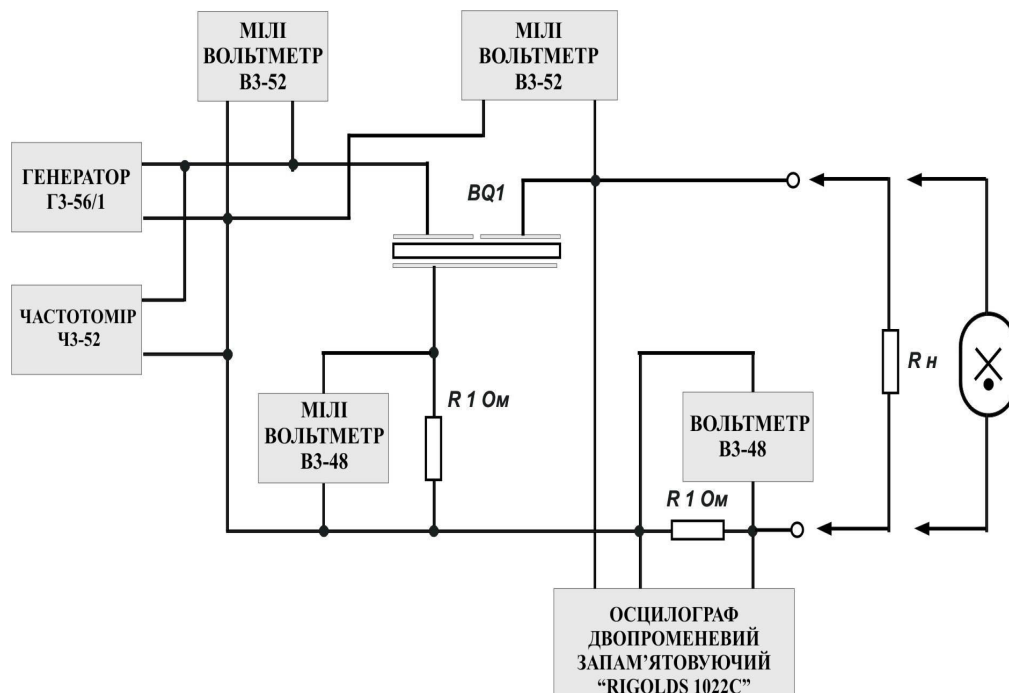


Рисунок 2. Схема вимірювання характеристик ПТ

Для отримання експериментальних характеристик проведемо дослідження п'єзотрансформаторів струму розмірами 105 x 50 x 2 мм та 97 x 39 x 2 мм, що працюють на 2-й моді (гармоніці) поперечних коливань, виготовлених з матеріалу ЦТС-35. Частота вказаної моди для першого ПТ становить 72 кГц, для другого – 87 кГц. Дослідження проводили з використанням схеми вимірювання електричних параметрів, зображеної на рисунку 2.

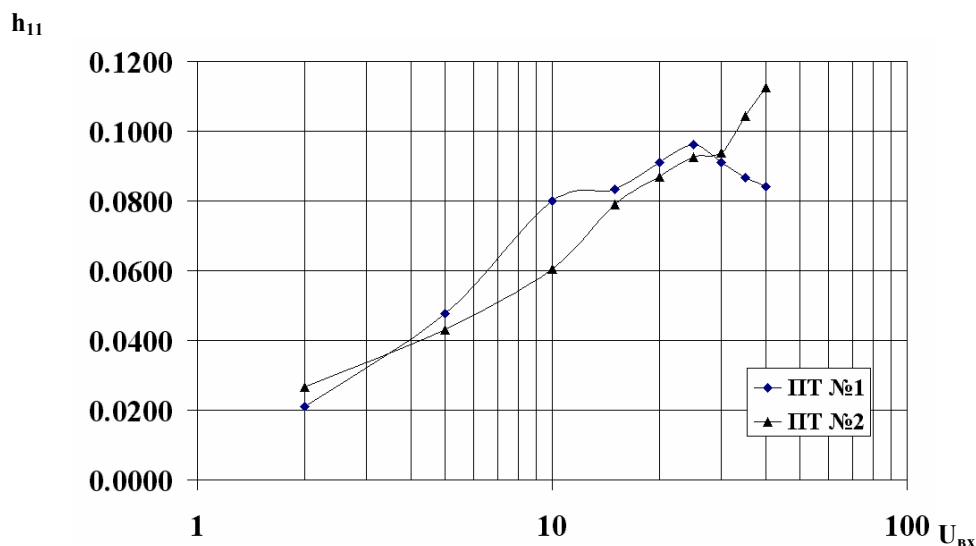
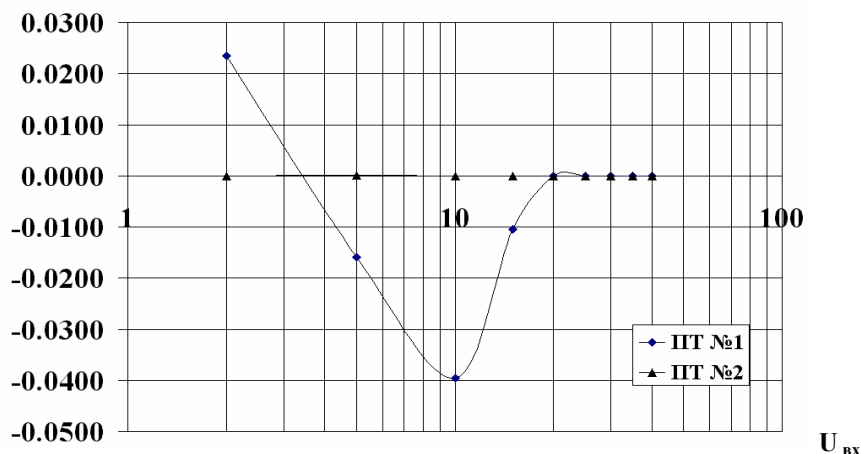
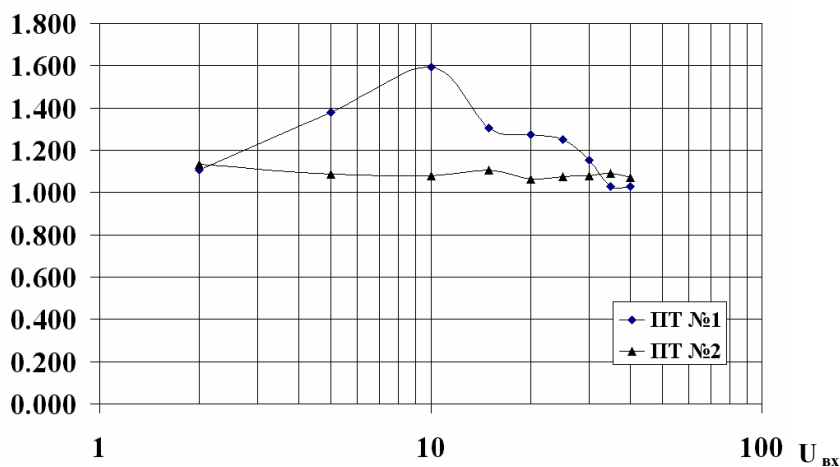


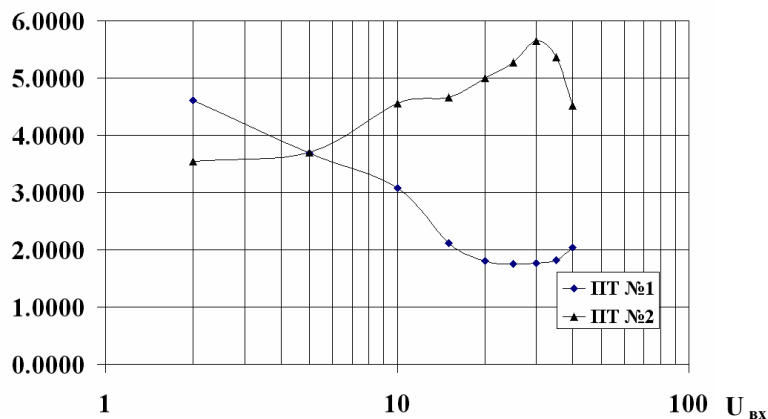
Рисунок 3. Залежність параметра h_{11} (кОм) від вхідної напруги U_{bx} (В)

Залежність h_{11} від U_{bx} (рис. 3) є практично лінійною при вхідних напругах до 30 В. При подальшому зростанні напруги спостерігається поява нелінійності залежно h_{11} від U_{bx} досліджуваних зразків ПТ.

h_{12}


 Рисунок 4. Залежність параметра h_{12} від вхідної напруги U_{BX} (В)

 h_{21}

 Рисунок 5. Залежність параметра h_{21} від вхідної напруги U_{BX} (В)

 h_{22}

 Рисунок 6. Залежність параметра h_{22} (мСм) від вхідної напруги U_{BX} (В)

Інші отримані експериментальні залежності h_{12} , h_{21} та h_{22} від вхідної напруги U_{BX} (рис. 4, 5, 6) показують, що залежності всіх h -параметрів є лінійними при значеннях вхідної напруги від 0 до 10 В (від 0 до 5 В/мм по товщині ПТ) та нелінійними при більших, робочих для комплекта ПТ-люмінесцентна лампа значеннях цієї напруги.

Для отримання експериментальних фазочастотних і температурних характеристик проведемо дослідження п'єзотрансформатора струму розмірами 105 x 50 x 2 мм, що працює на 2-й моді поперечних коливань, виготовлених з матеріалу

ЦТС-35. Частота вказаної моди для першого ПТ приблизно становить 72 кГц. Схема установки для дослідження п'єзотрансформатора зображена на рисунку 1.

K_U

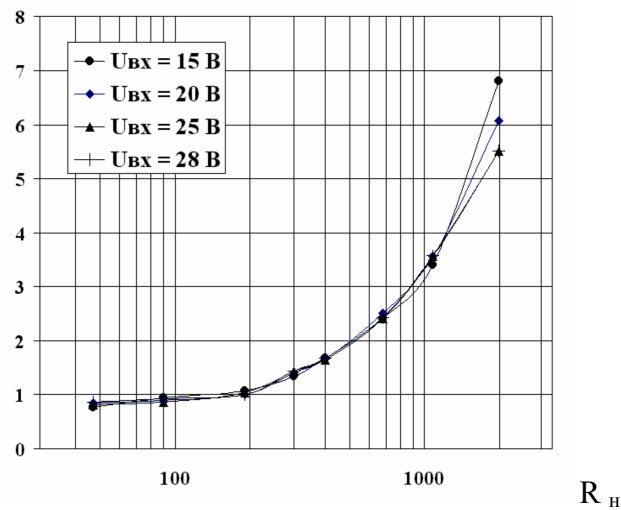


Рисунок 7. Залежність коефіцієнта трансформації по напрузі K_U від опору навантаження R_H (Ом) при різних значеннях вхідної напруги U_{BX} (В)

Досліджували такі залежності:

- коефіцієнт трансформації по напрузі K_U від вхідної напруги U_{BX} та опору навантаження R_H ;
- частоту резонансу F_p при різних значеннях вхідної напруги U_{BX} та опору навантаження R_H ;
- струм вхідної секції I_{BX} на частоті резонансу F_p при різних значеннях вхідної напруги U_{BX} та опору навантаження R_H ;
- зсув фаз ϕ між вхідною напругою U_{BX} та вихідним струмом I_H на частоті резонансу F_p при різних значеннях вхідної напруги U_{BX} та опору навантаження R_H ;
- коефіцієнт трансформації по напрузі в режимі холостого ходу K_{U0} від вхідної напруги U_{BX} при сталій температурі довкілля;
- коефіцієнт трансформації по напрузі в режимі холостого ходу K_{U0} від вхідної напруги U_{BX} при зміні температури довкілля.

F_p

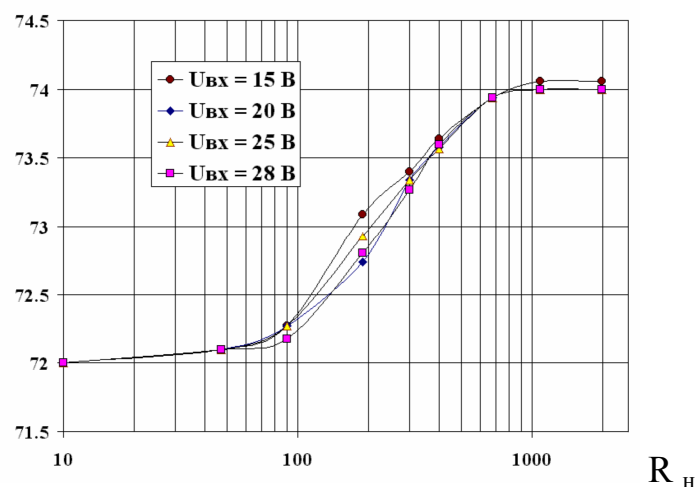


Рисунок 8. Залежність частоти резонансу F_p (кГц) від опору навантаження R_H (Ом) при різних значеннях вхідної напруги U_{BX} (В)

I_{BX}

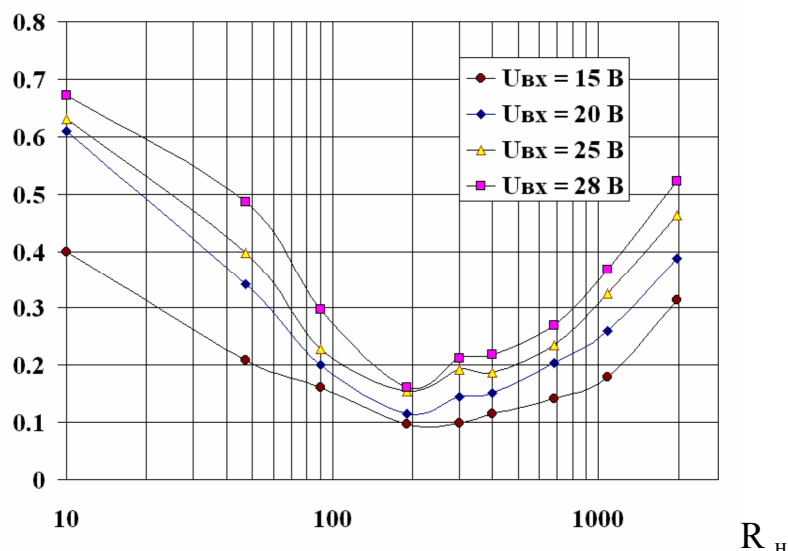


Рисунок 9. Залежність струму вхідної секції $I_{вх}$ (А) від опору навантаження $R_н$ (Ом) при різних значеннях вхідної напруги $U_{вх}$ (В)

Отримані залежності зображені на рисунках 7–10. Як бачимо з поданих залежностей (рис.7), коефіцієнт трансформації ПТ нелінійно зменшується зі зменшенням опору навантаження і практично не змінюється зі зміною вхідної напруги. Така ж нелінійність має місце залежно від частоти резонансу ПТ від опору навантаження (рис. 8): резонансна частота зменшується зі зменшенням опору навантаження і не змінюється зі зміною вхідної напруги.

Не залежить від значення вхідної напруги і величина зсуву фаз між вхідними напругою та струмом (рис. 10), але має місце стрімке зменшення величини зсуву фаз при зростанні опору навантаження і залежність ця є нелінійною при навантаженні від 0 до 100 Ом.

φ

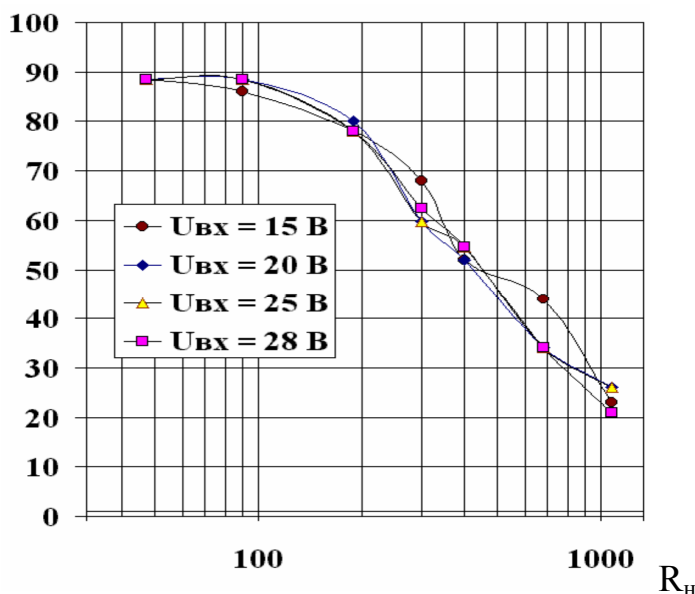


Рисунок 10. Залежність зсуву фаз (у градусах) між вхідною напругою $U_{вх}$ (В) та вихідним струмом $I_н$ (А) від опору навантаження $R_н$ (Ом) при різних значеннях вхідної напруги $U_{вх}$ (В)

Висновки. З отриманих експериментальних характеристик п'єзотрансформатора бачимо, що залежності h -параметрів від вхідної напруги є лінійними при значеннях вхідної напруги від 0 до 10 В (від 0 до 5 В/мм по товщині ПТ), та нелінійними при

більших напругах, які є робочими для навантаження ПТ люмінесцентними лампами потужністю 15...30 Вт. Ця нелінійність пояснюється механічними втратами в п'єзоматеріалі при збільшенні напруженості електричного поля ПТ. З наведених графіків випливає, що резонансна частота (рис.8) та кут зсуву фаз між вхідною напругою та вхідним струмом (рис. 10) практично не залежать від амплітуди вхідного сигналу. Значна залежність коефіцієнта трансформації від вхідної напруги $U_{вх}$ спостерігається в режимах, близьких до холостого ходу та короткого замикання, а його залежність від температури пояснюється температурною залежністю діелектричної проникності п'єзоматеріалу.

Література

1. Ерофеев А.А. Пьезоэлектронные устройства автоматики /Ерофеев А.А. – Ленинград: Машиностроение, 1982. – 212 с.
2. Медвидь В.Р. Расчет пьезотрансформатора для стабилизации разряда в люминесцентных лампах / Медвидь В.Р., Тарасенко Н.Г. //Светотехника. – 1987. – №12. – С. 11–14.
3. Карташов И.А. Пьезоэлектрические трансформаторы тока /И.А.Карташов, Н.Б.Марченко. – Киев: Техника, 1968. – 176 с.
4. Новые области применения пьезотрансформаторов /В.М.Климашин, В.Г.Никифоров, А.Я.Сафронов, В.К.Казаков //Компоненты технологии. – 2004. – №1. – С. 56–59.
5. Експериментальне дослідження характеристик п'єзонапівпровідникового ПРА для люмінесцентних ламп [О. Шкодзінський, І. Беякова, В. Пісьціо, В. Медвідь]: матеріали дванадцятої наукової конференції ТДТУ ім. І.Пулюя (травень 2008). – Тернопіль: ТДТУ, 2008. – 370 с.
6. Конструкції напівпровідникових пускорегулюючих апаратів на базі п'єзотрансформаторів. [О. Шкодзінський, І. Беякова, В.Пісьціо, В.Медвідь]: матеріали дванадцятої наукової конференції ТДТУ ім. І.Пулюя (травень 2008). – Тернопіль: ТДТУ, 2008. – 370 с.
7. Дослідження експериментальних характеристик комплексу п'єзотрансформатор–люмінесцентна лампа [О. Шкодзінський, І. Беякова, В.Пісьціо, В.Медвідь]: матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції «Світлотехніка й електроніка: історія, проблеми і перспективи» (травень 2008). – Тернопіль: ТДТУ, 2008. – 148 с.

Отримано 28.10.2010